

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
29. November 2001 (29.11.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/91323 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H04B 7/06

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/01883

(22) Internationales Anmeldedatum:  
17. Mai 2001 (17.05.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 26 077.2 25. Mai 2000 (25.05.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAMMER-  
SCHMIDT, Joachim [DE/DE]; Schwindstr. 10, 80798  
München (DE). BRUNNER, Christopher [DE/DE];  
Grabenstr. 49, 54516 Wittlich (DE). HAARDT, Mar-  
tin [DE/DE]; Wengleinstr. 3, 81477 München (DE).  
SEEGER, Alexander [DE/DE]; Wittelsbacherstr. 15,  
85622 Feldkirchen (DE).

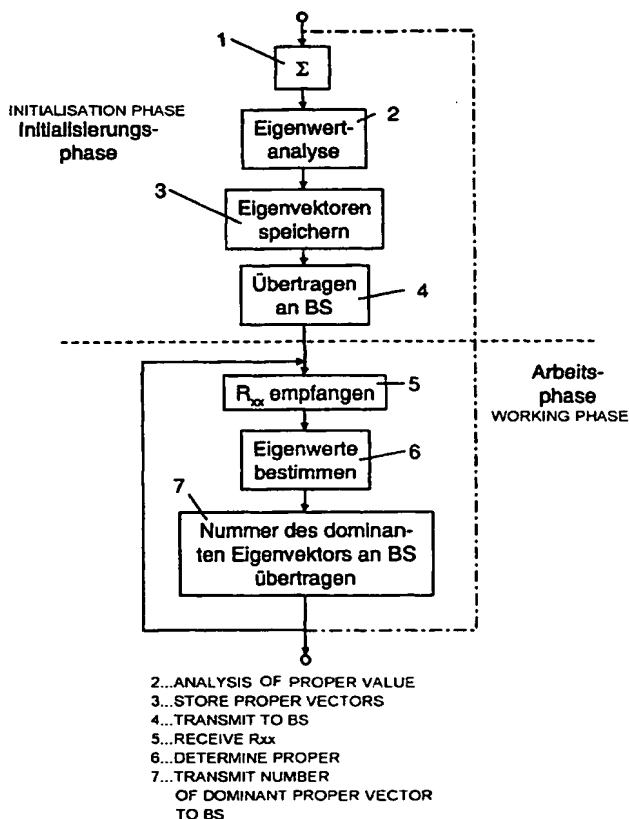
(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AU, BR, CA, CN, IN, JP,  
KR, PL, RU, US, ZA.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: BEAM FORMING METHOD

(54) Bezeichnung: STRAHLFORMUNGSVERFAHREN



(57) Abstract: The invention relates to a method for forming a beam in a radiocommunications system comprising subscriber stations and a base station (BS) which has an antenna device with several antenna elements. Said antenna elements emit a downlink signal, weighted with coefficients of a weighting vector, respectively. According to the method, a plurality of weighting vectors are determined (2) at the subscriber station in an initialization phase and transmitted (4) to the base station. In a subsequent working phase, the subscriber station selects (6) a dominant weighting vector from said determined weighting vectors and transmits a designation of the selected weighting vector to the base station (7).

(57) Zusammenfassung: Zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung mit mehreren Antennenelementen aufweist, die ein Downlink-Signal jeweils gewichtet mit Koeffizienten eines Gewichtungsvektors abstrahlen, wird in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von Gewichtungsvektoren an der Teilnehmerstation ermittelt (2), und die ermittelten Gewichtungsvektoren werden an die Basisstation übertragen (4). In einer darauffolgenden Arbeitsphase wählt die Teilnehmerstation unter den ermittelten Gewichtungsvektoren einen dominierenden aus (6) und überträgt eine Bezeichnung des ausgewählten Gewichtungsvektors an die Basisstation (7).



WO 01/91323 A1



(84) **Bestimmungsstaaten** (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

## Beschreibung

## Strahlformungsverfahren

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation, deren zugeordnete Antenneneinrichtung mehrere Antennenelemente aufweist, so daß eine räumliche Auflösung bei der Strahlformung möglich ist.

10

In Funk-Kommunikationssystemen werden Nachrichten (Sprache, Bildinformation oder andere Daten) über Übertragungskanäle mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen (Funkschnittstelle) übertragen. Die Übertragung erfolgt sowohl in Abwärtsrichtung  
15 (downlink) von der Basisstation zu der Teilnehmerstation, als auch in Aufwärtsrichtung (uplink) von der Teilnehmerstation zur Basisstation.

Signale, die mit den elektromagnetischen Wellen übertragen  
20 werden, unterliegen bei ihrer Ausbreitung in einem Ausbreitungsmedium u.a. Störungen durch Interferenzen. Störungen durch Rauschen können u.a. durch Rauschen der Eingangsstufe des Empfängers entstehen. Durch Beugungen und Reflexionen durchlaufen Signalkomponenten verschiedene Ausbreitungswege.  
25 Dies hat zum einen die Folge, daß ein Signal mehrfach, jeweils aus unterschiedlichen Richtungen, mit unterschiedlichen Verzögerungen, Dämpfungen und Phasenlagen, am Empfänger ankommen kann, und zum anderen können sich Beiträge des Empfangssignals kohärent mit wechselnden  
30 Phasenbeziehungen beim Empfänger überlagern und dort zu Auslöschungseffekten auf einem kurzfristigen Zeitmaßstab (fast fading) führen.

Aus DE 197 12 549 A1 ist bekannt, intelligente Antennen  
35 (smart antennas), d. h. Antennenanordnungen mit mehreren

2

Antennenelementen, zu nutzen, um die Übertragungskapazität in Aufwärtsrichtung zu erhöhen. Diese ermöglichen eine gezielte Ausrichtung des Antennengains in eine Richtung, aus der das Aufwärtssignal kommt.

5

Aus A.J.Paulraj, C.B.Papadias, „Space-time processing for wireless communications“, IEEE Signal Processing Magazine, Nov. 1997, S.49-83, sind verschiedene Verfahren zur räumlichen Signaltrennung für Auf- und Abwärtsrichtung bekannt.

10

Für die Abwärtsrichtung, also von Basisstation zur Teilnehmerstation, treten besondere Schwierigkeiten auf, da die Strahlformung vor der Beeinflussung der übertragenen Signale durch den Funkkanal vorzunehmen ist. Aus R. Schmalenberger, J.J. Blanz, „A comparison of two different algorithms for multi antenna C/I balancing“, Proc. 2<sup>nd</sup> European Personal Mobile Communications Conference (EPMCC), Bonn, Germany, Sept. 1997, S.483-490, ist ein Algorithmus der Strahlformung in Abwärtsrichtung bekannt, wobei ein direkter Ausbreitungspfad (Sichtverbindung) zwischen den Basisstationen und den Teilnehmerstationen und eine iterative Berechnung von Strahlformungsvektoren vorausgesetzt wird. Mit jeder Änderung der Eigenschaften des Übertragungskanals muß die gesamte aufwendige iterative Berechnung wiederholt werden.

25

Aus DE 198 03 188 A ist ein Verfahren bekannt, wobei eine räumliche Kovarianzmatrix für eine Verbindung von einer Basisstation zu einer Teilnehmerstation bestimmt wird. In der Basisstation wird ein Eigenvektor aus der Kovarianzmatrix berechnet und für die Verbindung als ein Strahlformungsvektor verwendet. Die Sendesignale für die Verbindung werden mit dem Strahlformungsvektor gewichtet und Antennenelementen zur Abstrahlung zugeführt. Intrazell-Interferenzen werden aufgrund der Verwendung von Joint-Detection, beispielsweise in den Endgeräten, in die Strahlformung nicht einbezogen und

30

35

3

eine Verfälschung der empfangenen Signale durch Interzell-Interferenzen wird vernachlässigt.

Anschaulich gesprochen ermittelt dieses Verfahren in einer  
5 Umgebung mit Mehrwegausbreitung einen Ausbreitungsweg mit  
guten Übertragungseigenschaften und konzentriert die  
Sendeleistung der Basisstation räumlich auf diesen  
Ausbreitungsweg. Dadurch kann jedoch nicht verhindert werden,  
daß Interferenzen auf diesem Übertragungsweg kurzfristig zu  
10 Signalauslöschungen und somit zu Unterbrechungen der  
Übertragung führen können.

Die Empfehlungen des 3GPP (3<sup>rd</sup> Generation Partnership  
Project, <http://www.3gpp.org>) sehen deshalb Verfahren vor,  
15 bei denen die Teilnehmerstation eine kurzfristige  
Kanalimpulsantwort  $h_m$  des Kanals vom  $m$ -ten Antennenelement  
zur Teilnehmerstation schätzt und Gewichtungsfaktoren  $w_m$   
berechnet, mit denen das Sendesignal vor Abstrahlung durch  
das  $m$ -te Antennenelement gewichtet werden soll. Entsprechende  
20 Konzepte sind auch in M. Raitola, A. Hottinen und R.  
Wichmann, „Transmission diversity in wideband CDMA“,  
erschieden in Proc. 49<sup>th</sup> IEEE Vehicular Technology Conf.  
Spring (VTC '99 Spring), S. 1545-1549, Houston, Texas 1999,  
behandelt.

25 Ein schwerwiegendes Problem dieser Vorgehensweise ist, daß  
der von der Teilnehmerstation abgeschätzte Vektor der  
Gewichtungsfaktoren an die Basisstation übertragen werden  
muß, und daß hierfür gemäß den Empfehlungen des 3GPP nur eine  
30 geringe Bandbreite von einem Bit pro Zeitschlitz (slot) zur  
Verfügung steht. Die Vektoren können daher nur grob  
quantisiert übertragen werden. Wenn sich der Kanal schnell  
ändert und die Gewichtungen von einem Zeitschlitz zum anderen  
aktualisiert werden müssen, sind lediglich zwei verschiedene  
35 relative Phasenlagen der Antennenelemente einstellbar. Wenn

der Kanal sich langsamer ändert und z. B. vier Zeitschlitzte zum Übertragen des Vektors zur Verfügung stehen, sind immerhin 16 verschiedene Werte des Vektors darstellbar.

- 5 Die bekannten Konzepte stoßen jedoch an ihre Grenzen, wenn die Zahl der Antennenelemente der Basisstation größer als zwei ist, denn die zum Übertragen des Vektors benötigte Bandbreite nimmt mit dessen Komponentenzahl, d. h. mit der Zahl der Antennenelemente zu. Das bedeutet: eine große Zahl  
10 von Antennenelementen wäre zwar einerseits wünschenswert, um den Sendestrahl möglichst genau ausrichten zu können, andererseits kann infolge der begrenzten verfügbaren Bandbreite der Gewichtungsvektor nicht so oft aktualisiert werden, wie dies zur Anpassung an das schnelle Fading  
15 erforderlich wäre.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Strahlformung anzugeben, das eine zuverlässigere Formung des Downlink-Strahls erlaubt.  
20

Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

- 25 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Datenübertragung wird in einem Funk-Kommunikationssystem mit einer Basisstation und Teilnehmerstationen eingesetzt. Die Teilnehmerstationen sind beispielsweise Mobilstationen, so in einem Mobilfunknetz, oder Feststationen, so in sogenannten Teilnehmerzugangs-Net-  
30 zen zum drahtlosen Teilnehmeranschluß. Die Basisstation weist eine Antenneneinrichtung (smart antenna) mit mehreren Antennenelementen auf. Die Antennenelemente ermöglichen einen gerichteten Empfang bzw. eine gerichtete Sendung von Daten über die Funkschnittstelle.

Das erfindungsgemäße Verfahren unterscheidet zwischen einer Initialisierungsphase, die jeweils in größeren Zeitabständen entsprechend einer großen Zahl von Zeitschlitzten der betreffenden Teilnehmerstation durchgeführt wird, und einer

5 Arbeitsphase, deren Schritte häufiger, z.B. bis zu einmal pro Zeitschlitz, durchgeführt werden. In der Initialisierungsphase wird eine Mehrzahl von sogenannten ersten Gewichtungsvektoren ermittelt, die in einer anschließenden Arbeitsphase des Funk-Kommunikationssystems

10 herangezogen werden, um einen tatsächlich für die Strahlformung verwendeten aktuellen Gewichtungsvektor jeweils für jeden Zyklus der Arbeitsphase neu festzulegen. Der mit der Ermittlung der Gewichtungsvektoren verbundene Verarbeitungsaufwand fällt daher nur relativ selten, in den

15 Initialisierungsphasen, an; die Festlegung des aktuellen Gewichtungsvektors, die z.B. lediglich eine Auswahl oder das Bilden einer Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren erfordert, kann hingegen so häufig ausgeführt werden, wie erforderlich, um durch schnelles Fading verursachte

20 Übertragungsunterbrechungen zu kompensieren.

Eine erste bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens sieht vor, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden. Diese Vorgehensweise ist insbesondere zweckmäßig bei Funk-Kommunikationssystemen,

25 die unterschiedliche Frequenzen für Uplink und Downlink verwenden, denn bei solchen Funk-Kommunikationssystemen ist der schnelle Signalschwund (fast fading) auf den unterschiedlichen Frequenzen nicht korreliert. Darüber hinaus müssen Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, die sowohl

30 für die Ermittlung der ersten Gewichtungsvektoren in der Initialisierungsphase als auch für die Neufestlegung der aktuellen Gewichtungsvektoren in der Arbeitsphase ausgeführt werden, somit nur an der Teilnehmerstation ausgeführt werden. So wird doppelter Verarbeitungsaufwand vermieden, und auch

35 Schaltungskomponenten für die Durchführung der

Verfahrensschritte müssen nur einmal, an der Teilnehmerstation, vorgesehen werden.

Dabei werden zweckmäßigerweise in der Initialisierungsphase die an der Teilnehmerstation ermittelten ersten  
5 Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen, und in der Arbeitsphase erfolgt die Neufestlegung des aktuellen Gewichtungsvektors dadurch, daß die Teilnehmerstation unter den ermittelten ersten Gewichtungsvektoren einen dominierenden auswählt und eine Bezeichnung des ausgewählten  
10 dominierenden Gewichtungsvektors an die Basisstation überträgt. Da diese Übertragung nicht in jedem einzelnen Zeitschlitz der Teilnehmerstation stattfinden muß, kann ihr zeitweilig ein eigener Kanal zugeordnet werden, oder in einzelnen Zeitschlitzen kann die Übertragung von Nutzdaten  
15 wie Sprache von der Teilnehmerstation zur Basisstation unterbrochen oder eingeschränkt werden, um Übertragungsbandbreite für die Übertragung der Gewichtungsvektoren zu schaffen. Diese Gewichtungsvektoren können so mit einer wesentlich höheren Auflösung übertragen  
20 werden, als dies bei den herkömmlichen Verfahren mit der Übertragungsbandbreite von einem Bit pro Zeitschlitz möglich ist.

Die Gewichtungsvektoren entsprechen jeweils Abstrahlungsrichtungen der Antenneneinrichtung der  
25 Basisstation. Zwar kann es durch schnelles Fading zu kurzfristigen Beeinträchtigungen der Übertragung auf einem solchen gerichteten Ausbreitungsweg kommen; die Richtungen selber, in die das Downlink-Signal abgestrahlt werden muß, um die Teilnehmerstation gut zu erreichen, ändern sich aber auch  
30 bei einer bewegten Teilnehmerstation nur langsam, etwa in einem Zeitmaßstab von Sekunden bis Minuten. Deshalb sind die an die Basisstation übertragenen Gewichtungsvektoren über eine Zeitspanne von entsprechender Länge für die Strahlformung brauchbar, auch wenn nicht alle  
35 Gewichtungsvektoren zu jedem Zeitpunkt eine Übertragung mit



guter Qualität erlauben. Wenn die Übertragungsqualität eines zu einem gegebenen Zeitpunkt verwendeten Gewichtungsvektors nachläßt, muß die Basisstation kurzfristig auf einen anderen Gewichtungsvektor wechseln, der eine befriedigende bzw. die

5. bestmögliche Übertragung erlaubt. Dieser Gewichtungsvektor wird hier als dominierender Gewichtungsvektor bezeichnet. Da die einzelnen Koeffizienten dieses Gewichtungsvektors bereits an der Basisstation bekannt sind, müssen sie in der Arbeitsphase nicht mehr einzeln übertragen werden; es genügt,

10. lediglich eine Bezeichnung zu übertragen, die es der Basisstation erlaubt, den von der Teilnehmerstation gewünschten dominierenden Gewichtungsvektor unter den bei ihr gespeicherten auszuwählen und zur Übertragung zu verwenden. Die Informationsmenge, die zur Übertragung einer solchen

15. Bezeichnung erforderlich ist, ist völlig unabhängig davon, mit welcher Auflösung die Koeffizienten der Gewichtungsvektoren in der Initialisierungsphase übertragen worden sind, und sie ist auch unabhängig von der Zahl der Koeffizienten jedes Vektors, das heißt von der Zahl der

20. Antennenelemente der Antenneneinrichtung der Basisstation. Diese Informationsmenge wächst lediglich logarithmisch mit der Zahl der an die Basisstation übertragenen Gewichtungsvektoren. Auf diese Weise ist in der Arbeitsphase der Teilnehmerstation eine hochgenaue Strahlformung bei

25. minimalem Bandbreitenbedarf für die Übertragung der Bezeichnung möglich.

Vorzugsweise wird in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Downlink-Signals erzeugt, und es werden Eigenvektoren dieser ersten

30. Kovarianzmatrix ermittelt, die als Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen werden.

Diese erste Kovarianzmatrix kann für das gesamte von der Teilnehmerstation empfangene Downlink-Signal einheitlich erzeugt werden. Da die einzelnen Beiträge zum von der

35. Teilnehmerstation empfangenen Downlink-Signal sich jedoch

nicht nur durch den zurückgelegten Weg, sondern auch durch die für diesen Weg benötigte Laufzeit unterscheiden, ist es aufschlußreicher, wenn die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Downlink-Signals einzeln erzeugt wird.

- 5 Vorzugsweise werden aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix bzw. -matrizen diejenigen Eigenvektoren ermittelt, die die größten Eigenwerte aufweisen, denn diese entsprechen den Ausbreitungswegen mit der geringsten Dämpfung.
  - 10 Um einen repräsentativen Aufschluß über die Qualität der einzelnen Übertragungswege zu gewinnen, ist es ferner zweckmäßig, daß jede erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitten des Downlink-Signals gemittelt wird.
- Um in der Arbeitsphase den jeweils zeitweilig am besten geeigneten Gewichtungsvektor zu ermitteln, wird vorzugsweise
- 15 eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt, und als dominierender Gewichtungsvektor wird derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist. Diese zweite
  - 20 räumliche Kovarianzmatrix kann z.B. für jeden der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz von neuem erzeugt werden.
- Um bei der Erzeugung der Kovarianzmatrixen die Beiträge der einzelnen Antennenelemente unterscheiden zu können, ist es
- 25 zweckmäßig, daß jedes Antennenelement periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, die der Teilnehmerstation bekannt und zu den Trainingssequenzen der anderen Antennenelemente orthogonal ist, und daß die
  - 30 Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.

Einer speziellen Ausgestaltung zufolge, kann die Zahl der ermittelten Gewichtungsvektoren zwei betragen; in diesem Fall

genügt ein Bit zur Bezeichnung des jeweils dominierenden Gewichtungsvektors in der Arbeitsphase, und dieses Bit kann in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen werden.

- 5 Es kann auch eine größere Zahl von Gewichtungsvektoren ermittelt werden, vorzugsweise eine Zweierpotenz  $2^n$ , wobei in diesem Fall  $n$  Bits zur Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors benötigt werden. Die Übertragung dieser Bezeichnung kann auf mehrere Zeitschlitze verteilt erfolgen;
- 10 wenn in jedem Zeitschlitz  $a$  Bits für die Übertragung zur Verfügung stehen, werden  $n/a$  Zeitschlitze benötigt, und der durch die Bezeichnung spezifizierte Gewichtungsvektor wird in den  $n/a$  unmittelbar auf die vollständige Übertragung der Bezeichnung folgenden Zeitschlitzen eingesetzt.
- 15 Einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung zufolge werden die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß die Übertragung der Koeffizienten der ersten Gewichtungsvektoren von der Teilnehmerstation zur
- 20 Basisstation nicht erforderlich ist. Ein solches Verfahren ist daher besser kompatibel mit existierenden Mobilfunksystemen, die eine solche Übertragung nicht vorsehen.

- Zwar ist das schnelle Fading bei Mobilfunksystemen, die
- 25 unterschiedliche Frequenzen für Uplink und Downlink anwenden, für die beiden Übertragungsrichtungen unterschiedlich, dies wirkt sich jedoch auf die Ermittlung der ersten Gewichtungsvektoren nicht störend aus, wenn letzere durch eine zeitliche Mittelung, insbesondere anhand einer
- 30 gemittelten Kovarianzmatrix, erhalten werden.

Auch hier ist es bevorzugt, wenn die ersten Gewichtungsvektoren jeweils Eigenwerte einer Kovarianzmatrix sind, denn diese Eigenwerte entsprechen jeweils einem

einzelnen Ausbreitungsweg des zwischen Basisstation und Teilnehmerstation auf möglicherweise mehreren verschiedenen Wegen gleichzeitig ausgetauschten Funksignals. Wenn zwischen der Teilnehmerstation und der Basisstation ein direkter Ausbreitungsweg (LOS, line of sight) besteht, was für die Basisstation anhand der Empfangsstatistik des Uplink-Signals feststellbar ist, so genügt es, daß diese das Downlink-Signal mit einem einzigen, diesem Übertragungsweg entsprechenden Gewichtungsvektor gewichtet ausstrahlt. Auf diese Weise wird die Sendeleistung der Basisstation gezielt auf den direkten Übertragungsweg ausgerichtet, andere Übertragungswege geringerer Güte werden nicht gezielt mit Sendeleistung versorgt.

Falls ein direkter Übertragungsweg nicht gegeben ist, kann als aktueller Gewichtungsvektor eine Linearkombination von ersten Gewichtungsvektoren verwendet werden. Dies entspricht einer gezielten Aufteilung der Sendeleistung der Basisstation auf eine begrenzte Zahl von Ausbreitungswegen entsprechend der Zahl der in die Linearkombination eingehenden aktuellen Gewichtungsvektoren. Falls in einer solchen Situation einer der Übertragungswege durch schnelles Fading kurzfristig ausfällt, ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß wenigstens ein anderer Gewichtungsvektor der Linearkombination einem Übertragungsweg mit brauchbarer Qualität entspricht. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich bei den ersten Gewichtungsvektoren um die Eigenvektoren der Kovarianzmatrix handelt, da bei diesen die Wahrscheinlichkeiten einer destruktiven Interferenz statistisch nicht korreliert sind.

Um bei einer solchen Übertragung unter Verwendung einer Linearkombination von Eigenvektoren einen möglichst guten Signal-Störabstand zu erzielen, können die Koeffizienten der Linearkombination für einen ersten Gewichtungsvektor um so größer gewählt werden, je größer dessen Eigenwert ist.

Falls die Verzögerung des Downlink-Signals auf zwei Übertragungswegen identisch ist, ist die Teilnehmerstation nicht ohne weiteres in der Lage, die Anteile dieser zwei Übertragungswege zu den von ihr empfangenem Signal

5 auseinander zu halten. Es besteht daher die Möglichkeit, daß diese zwei Beiträge am Ort der Teilnehmerstation gegenphasig sind und sich gegenseitig auslöschen. Eine solche gegenseitige Auslöschung kann zuverlässig vermieden werden, wenn an der Basisstation aus einer für die Teilnehmerstation

10 bestimmten Nutzdatenfolge mehrere Downlink-Signale erzeugt werden, die jeweils eine unterschiedliche Space-Time-Block-Kodierung aufweisen, und jedes dieser Downlink-Signale mit einem anderen aktuellen Gewichtungsvektor gewichtet

15 ausgestrahlt wird. Auf diese Weise wird jedem Ausbreitungsweg eine charakteristische Space-Time-Block-Kodierung zugeordnet, die die Beiträge der verschiedenen Übertragungswege unter allen Umständen unterscheidbar macht.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

- 20 Fig. 1 ein Blockschaltbild eines Mobilfunknetzes
- Fig. 2 ein Blockschaltbild der Basisstation;
- Fig. 3 ein Blockschaltbild der Teilnehmerstation und
- 25 Fig. 4 ein Flußdiagramm des Verfahrens gemäß einer ersten Ausgestaltung; und
- Fig. 5 ein Flußdiagramm des Verfahrens gemäß einer zweiten
- 30 Ausgestaltung.

Figur 1 zeigt die Struktur eines Funk-Kommunikationssystems, bei dem das erfindungsgemäße Verfahren anwendbar ist. Es besteht aus einer Vielzahl von Mobilvermittlungsstellen MSC,

die untereinander vernetzt sind bzw. den Zugang zu einem Festnetz PSTN herstellen. Weiterhin sind diese Mobilvermittlungsstellen MSC mit jeweils zumindest einem Basisstationscontroller BSC verbunden. Jeder Basisstationscontroller BSC ermöglicht wiederum eine Verbindung zu zumindest einer Basisstation BS. Eine solche Basisstation BS kann über eine Funkschnittstelle eine Nachrichtenverbindung zu Teilnehmerstationen MS aufbauen. Hierfür sind wenigstens einzelne der Basisstationen BS mit Antenneneinrichtungen AE ausgerüstet, die mehrere Antennenelemente ( $A_1 - A_M$ ) aufweisen.

In Fig. 1 sind beispielhaft Verbindungen  $V_1, V_2, V_k$  zur Übertragung von Nutzinformati- und Signalisierungsinformationen zwischen Teilnehmerstationen  $MS_1, MS_2, MS_k, MS_n$  und einer Basisstation BS dargestellt. Ein Operations- und Wartungszentrum OMC realisiert Kontroll- und Wartungsfunktionen für das Mobilfunknetz bzw. für Teile davon. Die Funktionalität dieser Struktur ist auf andere Funkkommunikationssysteme übertragbar, in denen die Erfindung zum Einsatz kommen kann, insbesondere für Teilnehmerzugangsnetze mit drahtlosem Teilnehmeranschluß.

Fig. 2 zeigt schematisch den Aufbau einer Basisstation BS. Eine Signalerzeugungseinrichtung SA stellt das für die Teilnehmerstation  $MS_k$  bestimmte Sendesignal in Funkblöcken zusammen und ordnet es einem Frequenzkanal TCH zu. Eine Sende/Empfangseinrichtung TX/RX empfängt das Sendesignal  $s_k(t)$  von der Signalerzeugungseinrichtung SA. Die Sende/Empfangseinrichtung TX/RX umfaßt ein Strahlformungsnetzwerk, in dem das Sendesignal  $s_k(t)$  für die Teilnehmerstation  $MS_k$  mit Sendesignalen  $s_1(t), s_2(t), \dots$  verknüpft wird, die für andere Teilnehmerstationen bestimmt sind, denen die gleiche Sendefrequenz zugeordnet ist. Das Strahlformungsnetzwerk umfaßt für jedes Teilnehmersignal und jedes Antennenelement einen Multiplizierer  $M$ , der das Sendesignal  $s_k(t)$  mit einer Komponente  $w_m^{(k)}$  eines

13

Gewichtungsvektors  $\mathbf{w}^{(k)}$  multipliziert, der der empfangenden Teilnehmerstation MSk zugeordnet ist. Die Ausgangssignale der jeweils einem Antennenelement  $A_m$ ,  $m = 1, \dots, M$  zugeordneten Multiplizierer M werden von einem Addierer  $AD_m$ ,  $m = 1, 2, \dots$ ,  
5 M addiert, von einem Digitalanalogwandler DAC analogisiert, auf die Sendefrequenz umgesetzt (HF) und in einem Leistungsverstärker PA verstärkt, bevor sie das Antennenelement  $A_1, \dots, A_M$  erreichen. Eine zu dem beschriebenen Strahlformungsnetz analoge Struktur, die in der  
10 Figur nicht eigens dargestellt ist, ist zwischen den Antennenelementen  $A_1, A_2, \dots, A_M$  und einem digitalen Signalprozessor DSP angeordnet, um das empfangene Gemisch von Uplink-Signalen in die Beiträge der einzelnen Teilnehmerstationen zu zerlegen und diese getrennt dem DSP  
15 zuzuführen.

Eine Speichereinrichtung SE enthält zu jeder Teilnehmerstation MSk einen Satz von Gewichtungsvektoren  $\mathbf{w}^{(k,1)}, \mathbf{w}^{(k,2)}, \dots$ , unter denen der von den Multiplizierern M  
20 verwendete Gewichtungsvektoren  $\mathbf{w}^{(k)}$  ausgewählt ist.

Figur 3 zeigt schematisch den Aufbau einer Teilnehmerstation MSk zur Durchführung einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Teilnehmerstation MSk  
25 umfaßt eine einzige Antenne A, die das von der Basisstation BS ausgestrahlte Downlink-Signal empfängt. Das ins Basisband umgesetzte Empfangssignal von der Antenne A wird einem sogenannten Rake Searcher RS zugeführt, der dazu dient, Laufzeitunterschiede von Beiträgen des Downlink-Signals zu  
30 messen, die die Antenne A auf unterschiedlichen Ausbreitungswegen erreicht haben. Das Empfangssignal liegt ferner an einem Rake-Verstärker RA an, der eine Mehrzahl von Rake-Fingern umfaßt, von denen drei in der Figur dargestellt sind, und die jeweils ein Verzögerungsglied DEL und einen  
35 Entspreizer-Entscrambler EE aufweisen. Die Verzögerungsglieder DEL verzögern das Empfangssignal jeweils um einen vom Rake-Searcher RS gelieferten Verzögerungswert

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$  : Die Entspreizer-Entscrambler EE liefern an ihren Ausgängen jeweils eine Folge von abgeschätzten Symbolen, wobei die Ergebnisse der Abschätzung für die einzelnen Entscrambler aufgrund unterschiedlicher Phasenlagen des Downlink-Signals zu Entscrambling- und Spreizcode in den  
5 einzelnen Fingern des Rake-Verstärkers unterschiedlich sein können.

In den von den Entspreizern-Entscramblern EE gelieferten  
10 Symbolfolgen sind auch die Ergebnisse der Abschätzung von Trainingssequenzen enthalten, die von der Basisstation ausgestrahlt werden, und die für jedes Antennenelement der Basisstation quasi-orthogonal und charakteristisch sind. Ein Signalprozessor SP dient zum Vergleich der Ergebnisse der  
15 Abschätzung dieser Trainingssequenzen mit den der Teilnehmerstation bekannten, tatsächlich in den Trainingssequenzen enthaltenen Symbole. Anhand dieses Vergleichs kann die Impulsantwort des Übertragungskanals zwischen Basisstation BS und Teilnehmerstation MSk für jeden  
20 einzelnen Finger oder Tap ermittelt werden. An die Ausgänge der Entspreizer-Entscrambler EE ist auch ein Maximum Ratio Combiner MRC angeschlossen, der die einzelnen abgeschätzten Symbolfolgen zu einer kombinierten Symbolfolge mit bestmöglichen Signalrauschverhältnis zusammenfügt und diese  
25 an eine Sprachsignalverarbeitungseinheit SSV liefert. Die Arbeitsweise dieser Einheit SSV, die die empfangene Symbolfolge in ein für einen Benutzer hörbares Signal umwandelt bzw. empfangene Töne in eine Sendesymbolfolge umsetzt, ist hinlänglich bekannt und braucht hier nicht  
30 beschrieben zu werden.

Der Signalprozessor SP ermittelt für jeden Tap einzeln die Impulsantworten eines jeden Antennenelements  $AE_1, \dots, AE_M$  und fügt diese Impulsantworten in der z.B. aus der zitierten  
35 DE 198 03 188 bekannten Weise zu einer räumlichen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  zusammen. Diese räumlichen Kovarianzmatrizen werden an eine Recheneinheit RE geliefert,



deren Arbeitsweise anhand des Flußdiagramms aus Figur 4 beschrieben wird.

In einer Initialisierungsphase 1 summiert die Recheneinheit  
5 RE eine große Zahl von gelieferten Kovarianzmatrizen für jeden Tap getrennt auf und bildet einen Mittelwert der Kovarianzmatrizen. Eine Analyse der Eigenwerte und Eigenvektoren der für die verschiedenen Taps erhaltenen gemittelten Kovarianzmatrizen schließt sich an (Schritt 2).

10

Die Analyse kann sich auf sämtliche Eigenvektoren und -werte der Kovarianzmatrix erstrecken, in dem hier betrachteten Fall ermittelt eine Kontrolleinheit KE unter den bei der Analyse gefundenen Eigenvektoren eine begrenzte Zahl, z.B. 2 oder 4,  
15 die die Eigenwerte mit den höchsten Beträgen aufweisen, und die folglich den Übertragungswegen mit der geringsten Dämpfung entsprechen. Alternativ kann ein Verfahren zur Eigenvektoranalyse eingesetzt werden, das die Eigenvektoren der Kovarianzmatrix in der Reihenfolge abnehmender Beträge  
20 der Eigenwerte liefert, und das abgebrochen wird, wenn die begrenzte Zahl von Eigenvektoren ermittelt ist.

Die Koeffizienten der ermittelten Eigenvektoren  $w^{(k,1)}$ ,  $w^{(k,2)}$ ,  
... werden mit dem von der Sprachverarbeitungseinheit SSV  
25 kommenden Nutzdatenstrom kombiniert und über die Antenne A an die Basisstation übertragen (Schritt 4). Die Basisstation speichert sie in ihrer Speichereinheit SE zur Verwendung als Koeffizienten für die Multiplizierer M des Strahlformungsnetzes.

30

Nun geht die Recheneinheit RE in eine Arbeitsphase über, in der diese Kovarianzmatrizen  $R_{xx}$  jeweils auf einen einzelnen Zeitschlitz der Teilnehmerstation bezogen von dem Signalprozessor SP empfängt (Schritt 5) und mit jedem der in  
35 der Speichereinheit gespeicherten, an die Basisstation übertragenen Eigenvektoren multipliziert, um die Eigenwerte dieser Vektoren für die betreffende Kovarianzmatrix zu

ermitteln (Schritt 6). Die Nummer des Eigenvektors, der den größeren Eigenwert aufweist, wird im Schritt 7 über die Kontrolleinheit KE an die Basisstation übermittelt. Dieser Eigenvektor wird als der dominierende Eigenvektor bezeichnet, 5 denn er liefert den stärksten und in der Regel besten Beitrag zum Empfangssignal. Wenn lediglich zwei ermittelte Eigenvektoren im Speicherelement SE gespeichert sind und an die Basisstation übertragen worden sind, genügt ein Bit, um den Eigenvektor mit dem jeweils größeren Eigenwert zu 10 bezeichnen. Folglich kann, wenn pro Zeitschlitz ein Bit für die Rückmeldung der Empfangseigenschaften an die Basisstation zur Verfügung steht, der von der Basisstation zur Strahlformung verwendete Vektor in jedem Zeitschlitz aktualisiert und für die Strahlformung im darauffolgenden 15 Zeitschlitz verwendet werden.

Wenn vier Eigenwerte an die Basisstation übermittelt worden sind, sind zwei Bits zur Bezeichnung des jeweils dominierenden Eigenvektors erforderlich. Wenn ein Bit pro 20 Zeitschlitz für die Rückübertragung der Empfangseigenschaften zur Verfügung steht, sind daher zwei Zeitschlitz erforderlich, um die vollständige Bezeichnung des dominierenden Vektors zu übertragen. Dieser wird folglich für die zwei auf seiner Übertragung folgenden Zeitschlitz für 25 die Strahlformung genutzt; im Laufe dieser zwei Schlitz wird die anschließend zu verwendete Bezeichnung übertragen.

Die Schritte der Arbeitsphase können viele Male zyklisch wiederholt werden, bevor die Initialisierungsphase erneut 30 durchgeführt werden muß, um die Koeffizienten der Eigenvektoren zu aktualisieren.

Der einfacheren Verständlichkeit wegen wurde oben zwischen Initialisierungsphase und Arbeitsphase unterschieden. Dies 35 bedeutet jedoch nicht, daß beide Phasen zeitlich von einander getrennt ablaufen müssen. Es ist z.B. möglich und zweckmäßig, beide Phasen miteinander zu verschränken, indem die

- Recheneinheit RE mit einer empfangenen Kovarianzmatrix  $R_{xx}$  zum einen die Eigenwertbestimmung des Schritts 6 ausführt, und zum anderen diese Matrix zur Bildung eines laufenden Mittelwerts der Kovarianzmatrizen in Schritt 1 heranzieht.
- 5 Auf diese Weise ist gewährleistet, daß jederzeit eine aktuelle gemittelte Kovarianzmatrix zur Verfügung steht, an der die Eigenwertanalyse des Schritts 2 durchgeführt werden kann.
- 10 Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mit Bezug auf Figur 5 beschrieben. Bei dieser Ausgestaltung werden die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung von einer Teilnehmerstation MSk zur Basisstation BS ermittelt. Die
- 15 Basisstation BS ist zu diesem Zweck mit Komponenten analog zu dem mit Bezug auf Figur 3 für die Teilnehmerstation beschriebenen Rake-Searcher RS, Rake-Verstärker RA, Signalprozessor SP, Recheneinheit RE, Speicherelement SE etc. ausgestattet.
- 20 In Schritt 1 des Verfahrens bildet die Recheneinheit RE eine gemittelte Kovarianzmatrix für jeden einzelnen Tap des Uplink-Signals und ermittelt die Eigenvektoren und Eigenwerte der so erhaltenen Kovarianzmatrix. Diese Eigenwerte
- 25 entsprechen jeweils einem Übertragungsweg und enthalten die Information über die relativen Phasenlagen des entsprechenden Beitrags des Uplink-Signals an den einzelnen Antennenelementen und damit über die Richtung, aus der der Beitrag empfangen wird. Wenn die Frequenzen von Uplink und
- 30 Downlink bei dem betrachteten Funk-Kommunikationssystem gleich sind, können die in dem Eigenvektor enthaltenen Phaseninformationen direkt für die Gewichtung des Downlink-Signals genutzt werden. Falls die Frequenzen von Uplink und Downlink unterschiedlich sind, so ist es erforderlich, die in
- 35 dem Eigenvektor enthaltene Phaseninformation unter Zugrundelegung der Uplink-Frequenz in eine entsprechende Richtung und diese Richtung anhand der Downlink-Frequenz

wieder in Phaseninformation umzurechnen, um für die Strahlformung im Downlink geeignete Eigenvektoren zu erhalten.

- 5 Die Analyse des Schritts 2 umfaßt auch die Bestimmung der Eigenwerte der Eigenvektoren. Der Betrag des Eigenwerts ist ein Maß für die Qualität jedes einzelnen Übertragungsweges; für die spätere Verwendung wird daher eine gegebene Zahl von z.B. 2 oder 4 Eigenvektoren ausgewählt und in Schritt 3  
10 gespeichert, die unter den gefundenen Eigenvektoren die Eigenwerte mit dem höchsten Betrag aufweisen.

- In der sich anschließenden Arbeitsphase empfängt die Recheneinheit zyklisch Kovarianzmatrizen von dem  
15 Signalprozessor, wobei jede Kovarianzmatrix jeweils auf ein einzelnes Tap des Uplink-Signals bezogen ist. Die in der Speichereinheit SE gespeicherten Eigenvektoren entsprechen ihrerseits jeweils einem bestimmten Tap. Die Recheneinheit bestimmt in Schritt 6 für jeden gespeicherten Eigenvektor  
20 dessen aktuellen Eigenwert bei Multiplikation mit der in Schritt 5 gelieferten, dem gleichen Tap wie der Eigenvektor entsprechenden Kovarianzmatrix. Der erhaltene Eigenwert liefert ein Maß für die Übertragungsqualität auf dem dem Eigenvektor entsprechenden Übertragungsweg mit einer  
25 zeitlichen Auflösung, die der Rate der Erzeugung der Kovarianzmatrizen in der Arbeitsphase entspricht. In dieser Phase werden die Kovarianzmatrizen von dem Signalprozessor jeweils für jeden der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz aktuell erzeugt; der Eigenwert ist daher ein Maß  
30 für die Übertragungsqualität des Übertragungsweges unter Berücksichtigung des schnellen Fadings.

- Bei einer ersten, einfachen Variante des Verfahrens schließt sich ein Schritt 8 an, in dem ein aktueller Gewichtungsvektor  
35  $\mathbf{w}^{(k)}$  berechnet wird, indem eine Linearkombination der gespeicherten Eigenvektoren  $\mathbf{w}^{(k,1)}$ ,  $\mathbf{w}^{(k,2)}$ , ... gebildet wird, wobei jeder der Eigenvektoren  $\mathbf{w}^{(k,1)}$ ,  $\mathbf{w}^{(k,2)}$ , ... in die

- Linearkombination multipliziert mit seinem in Schritt 6 erhaltenen Eigenwert oder dessen Betrag eingeht. Eine Normierung der Linearkombination ist möglich. Durch diese Gewichtung bei der Bildung der Linearkombination ist
- 5 gewährleistet, daß diejenigen Übertragungswege, die kurzfristig die besten Übertragungseigenschaften aufweisen, das von der Basisstation abgestrahlte Downlink-Signal dominieren. Die anderen in den aktuellen Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  eingehenden Eigenvektoren dienen der Absicherung, daß
- 10 auch in dem Falle, daß der am höchsten gewichtete Übertragungsweg von einem Zeitschlitz auf den nächsten ausfällt, ein brauchbares Signal bei der Teilnehmerstation ankommt.
- 15 Falls einer der Übertragungswege zwischen Basisstation und Teilnehmerstation eine Direktverbindung ist, so ist dies für die Basisstation darin erkennbar, daß der entsprechende Beitrag an dem empfangenen Uplink-Signal relativ geringe Phasenfluktuation und zumeist auch geringe Dämpfung aufweist.
- 20 Wenn ein solcher direkter Übertragungsweg existiert, kann der zugeordnete Eigenvektor unmittelbar als aktueller Gewichtungsvektor  $w^{(k)}$  verwendet werden, mit anderen Worten alle anderen Eigenvektoren gehen mit Koeffizienten 0 in die Bildung der Linearkombination ein.
- 25 Eine weiterentwickelte Variante der zweiten Ausgestaltung setzt eine Basisstation mit einer mehrere Antennenelemente umfassende Antenneneinrichtung voraus, die in der Lage ist, unter Verwendung von Space-Time-Block-Codes auszustrahlen.
- 30 Solche Codes sind z. B. aus Tarokh et al., Space-Time Block Codes from Orthogonal Designs, IEEE Trans. on Information Theory, Bd. 45 Nr. 5, Juli 1999, bekannt. Ein Ausschnitt der Sende/Empfangseinrichtung Tx/Rx einer solchen Basisstation ist in Figur 6 gezeigt. In dieser Sende/Empfangseinrichtung
- 35 wird eine für die Teilnehmerstation MS<sub>k</sub> bestimmte komplexwertige Symbolfolge in zwei Stränge aufgeteilt, von denen einer einen Space-Time-Block-Encoder STBE enthält, der

hier zwei aufeinanderfolgende Symbole der Symbolfolge  $s_k(t)$  in ihrer Reihenfolge vertauscht, konjungiert und das Vorzeichen eines Symbols umkehrt. Die auf diese Weise erhaltenen zwei unterschiedlichen Symbolfolgen mit gleichem Informationsgehalt werden in einem Strahlformungsnetzwerk, dessen Aufbau analog zu dem mit Bezug auf Figur 2 beschriebenen ist und deshalb hier nicht wieder eingehend behandelt wird, mit zwei unterschiedlichen Eigenvektoren  $\mathbf{w}^{(k,a)}$ ,  $\mathbf{w}^{(k,b)}$  aus dem Satz der Eigenvektoren  $\mathbf{w}^{(k,1)}$ ,  $\mathbf{w}^{(k,2)}$ , ... ( $\mathbf{w}^{(k,a)} = (w_1^{(k,a)}, w_2^{(k,a)}, \dots, w_M^{(k,a)})$ ) gewichtet, additiv überlagert und ausgestrahlt. Die einzelnen Antennenelemente  $A_1, \dots, A_M$  sind somit in der Lage, ein Gemisch von Signalen auszustrahlen, die eine unterschiedliche Space-Time-Block-Kodierung aufweisen. Die Kodierung ist somit nicht für ein einzelnes Antennenelement spezifisch sondern für einen Ausbreitungsweg  $a$  bzw.  $b$ , der dem zur Gewichtung verwendeten Eigenvektor  $\mathbf{w}^{(k,a)}$  bzw.  $\mathbf{w}^{(k,b)}$  entspricht. Dadurch ist gewährleistet, daß Signale, die die Teilnehmerstation MSk auf diesen zwei verschiedenen Übertragungswegen  $a$ ,  $b$  erreichen, niemals destruktiv interferieren können, auch wenn ihre relative Verzögerung verschwindet. Bei der mit Hilfe dieser Sende/Empfangseinrichtung ausgeführten Variante der zweiten Ausgestaltung des Verfahrens ist der Schritt 8 des Bildens einer Linearkombination somit durch die Space-Time-Block-Kodierung ersetzt. Ansonsten entsprechen sich die Verfahrensschritte; insbesondere besteht bei beiden Varianten die Möglichkeit, diejenigen unter den gespeicherten Eigenvektoren, die in die Linearkombination eingehen, bzw. zur Gewichtung der Space-Time-Block-kodierten Signale eingesetzt werden, von einem Zyklus der Arbeitsphase zum nächsten auszutauschen.

Abwandlungen der hier beschriebenen Ausgestaltungen liegen anhand der hier gegebenen Offenbarung im Rahmen des fachmännischen Könnens. Insbesondere ist eine Variante denkbar, bei der eine Ermittlung der Eigenvektoren am Uplink-Signal vorgenommen wird, so wie mit Bezug auf die zweite

Ausgestaltung beschrieben, und bei der die ermittelten Eigenwerte von der Basisstation an die Teilnehmerstation ermittelt werden, so daß die Teilnehmerstation die Verfahrensschritte 5 bis 7, sowie mit Bezug auf Figur 4 für  
5 die erste Ausgestaltung des Verfahrens beschrieben, ausführen kann.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Strahlformung in einem Funk-Kommunikationssystem mit Teilnehmerstationen (MS<sub>k</sub>, MS<sub>1</sub> bis MS<sub>n</sub>) und einer Basisstation (BS), die eine Antenneneinrichtung (AE) mit mehreren Antennenelementen (A<sub>1</sub> bis A<sub>M</sub>) aufweist, die ein Downlinksignal jeweils gewichtet mit Koeffizienten  $w_i$ ,  $i=1, \dots, M$  eines aktuellen Gewichtungsvektors  $\mathbf{w}$  abstrahlen, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) in einer Initialisierungsphase eine Mehrzahl von ersten Gewichtungsvektoren  $\mathbf{w}^{(j)}$  ermittelt werden, und
  - b) in einer Arbeitsphase der für die Ausstrahlung eines Zeitschlitzes des für die Teilnehmerstation (MS<sub>k</sub>) bestimmten Downlinksignals verwendete aktuelle Gewichtungsvektor  $\mathbf{w}$  anhand der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zyklisch neu festgelegt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Downlink-Übertragung ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) in der Initialisierungsphase die ersten Gewichtungsvektoren  $\mathbf{w}^{(j)}$  an der Teilnehmerstation ermittelt werden, und die ermittelten ersten Gewichtungsvektoren an die Basisstation übertragen werden; und daß
  - b) in der Betriebsphase die Teilnehmerstation unter den ermittelten ersten Gewichtungsvektoren einen dominierenden auswählt und eine Bezeichnung des dominierenden Gewichtungsvektors an die Basisstation überträgt.



4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Downlinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren übertragen werden.  
5
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Downlinksignals einzeln erzeugt wird.  
10
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten ersten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen.  
15
7. Verfahren nach Anspruch 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitten des Downlinksignals gemittelt wird.  
20
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist.  
25
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Antennenelement periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, die zu den Trainingssequenzen der anderen Antennenelemente orthogonal ist, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Teilnehmerstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.  
30  
35

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren zwei beträgt, und daß die Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in dem unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Zahl der ermittelten ersten Gewichtungsvektoren  $2^n$ ,  $n=2, 3, \dots$  beträgt, und daß die  $n$  Bit umfassende Bezeichnung des dominanten Gewichtungsvektors in Portionen von  $a$  Bits,  $a=1, \dots, n$  in jedem der Teilnehmerstation zugeteilten Zeitschlitz übertragen wird.
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Bezeichnung zur Strahlformung in den  $n/a$  unmittelbar auf ihre Übertragung folgenden Zeitschlitz eingesetzt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand von Messungen der Uplink-Übertragung ermittelt werden.
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß in der Initialisierungsphase eine erste räumliche Kovarianzmatrix des empfangenen Uplinksignals erzeugt wird, daß Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix ermittelt werden und daß die Eigenvektoren als erste Gewichtungsvektoren verwendet werden.
16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix für jeden Tap des Uplinksignals einzeln erzeugt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelten Eigenvektoren diejenigen aus der Gesamtheit der Eigenvektoren der ersten Kovarianzmatrix oder -matrizen sind, die die größten Eigenwerte aufweisen.
18. Verfahren nach Anspruch 15, 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Kovarianzmatrix über eine Vielzahl von Zeitschlitten des Uplinksignals gemittelt wird.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß in der Betriebsphase zyklisch eine zweite räumliche Kovarianzmatrix erzeugt wird, und daß als dominierender Gewichtungsvektor derjenige unter den ermittelten Eigenvektoren ausgewählt wird, der mit der zweiten Kovarianzmatrix den größten Eigenwert aufweist.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß jede Teilnehmerstation periodisch eine Trainingssequenz ausstrahlt, und daß die ersten Gewichtungsvektoren anhand der von der Basisstation empfangenen Trainingssequenzen ermittelt werden.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor eine Linearkombination der ersten Gewichtungsvektoren ist.
22. Verfahren nach Anspruch 15 und Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Koeffizienten der Linearkombination für einen ersten Gewichtungsvektor um so größer gewählt werden, je größer dessen Eigenwert ist.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2, 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß aus einer für die Teilnehmerstation (MSK) bestimmten Symbolfolge mehrere

26

Downlink-Signale erzeugt werden, die jeweils eine unterschiedliche Space-Time-Block-Codierung aufweisen, und daß jedes der Downlinksignale mit einem anderen aktuellen Gewichtungsvektor gewichtet ausgestrahlt wird.

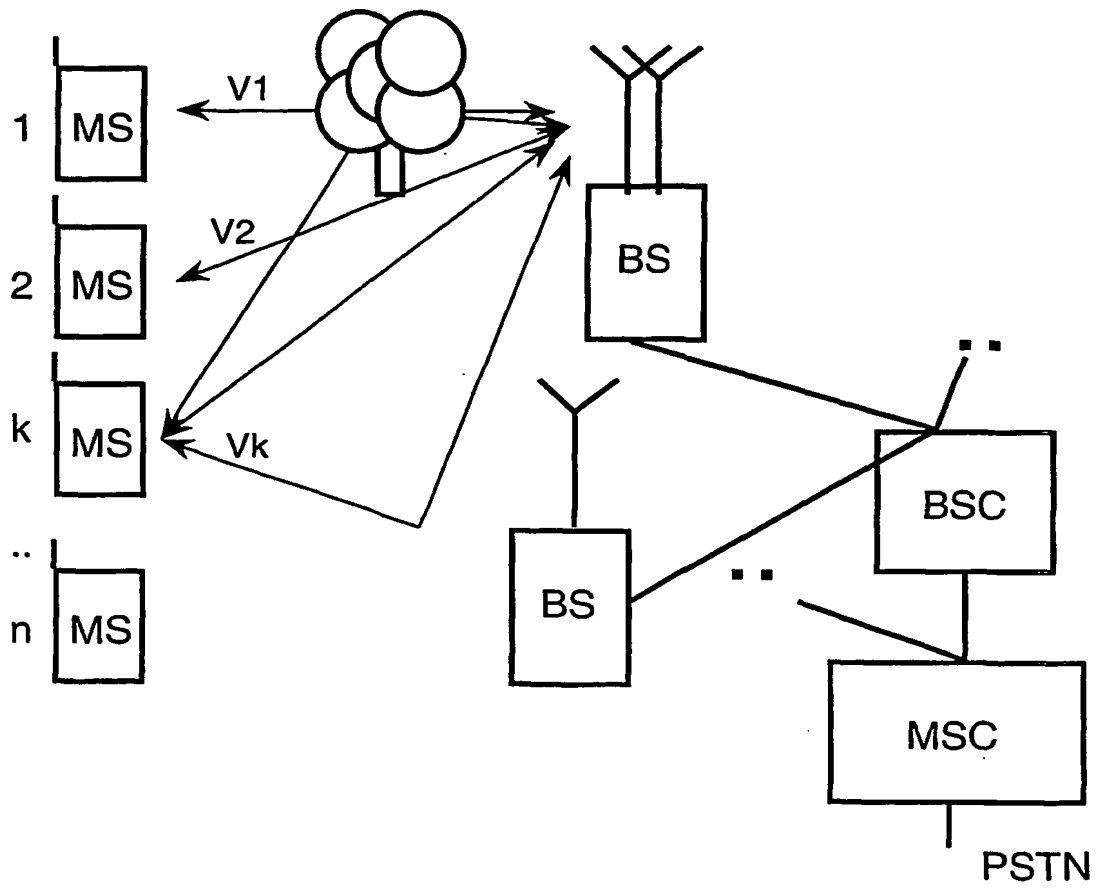
5

24. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß der aktuelle Gewichtungsvektor aus den ersten Gewichtungsvektoren ausgewählt wird, wenn ein LOS-Übertragungsweg zwischen Basisstation und Teilnehmerstation existiert.

10

1/6

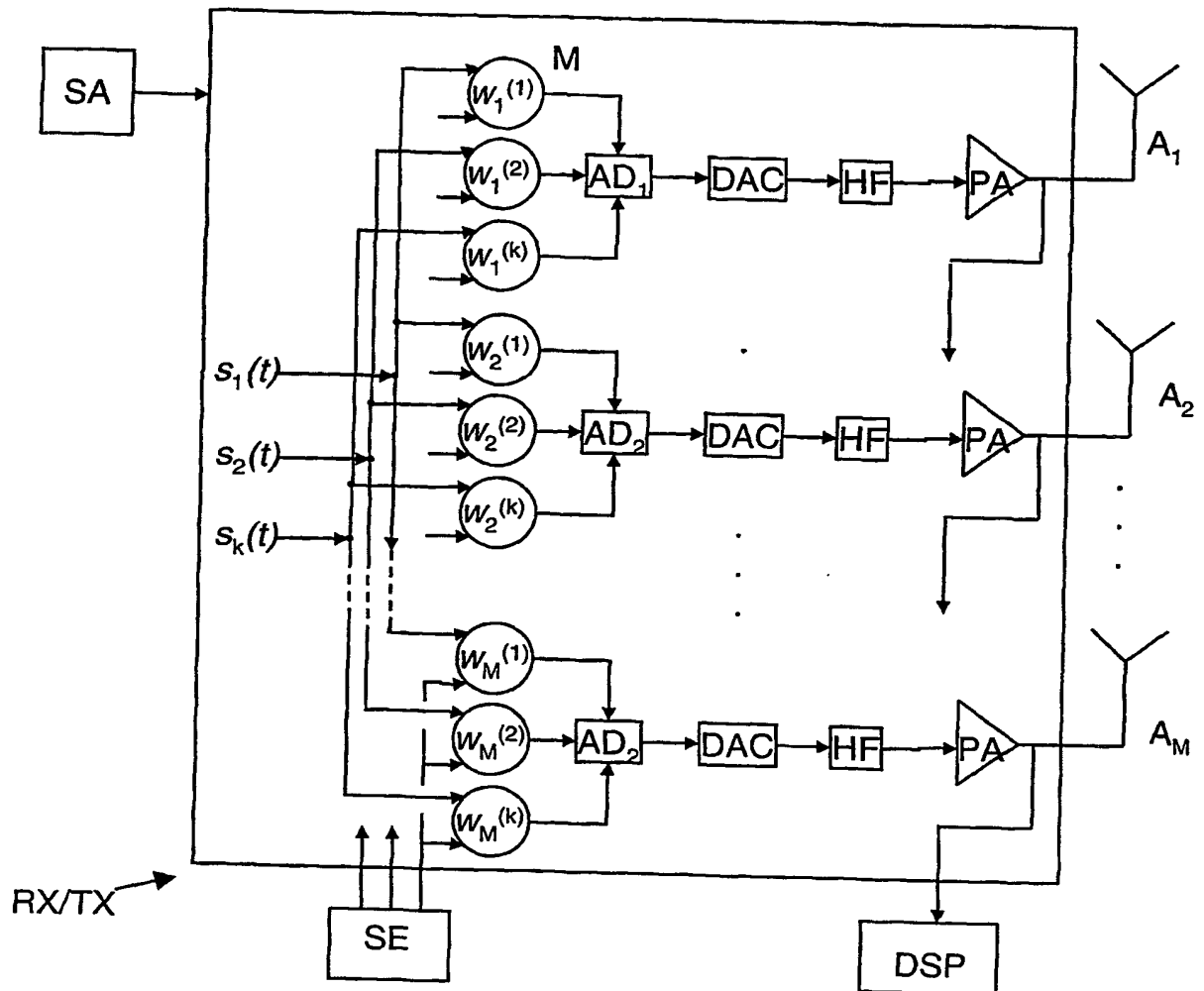
Fig.1



(Stand der Technik)

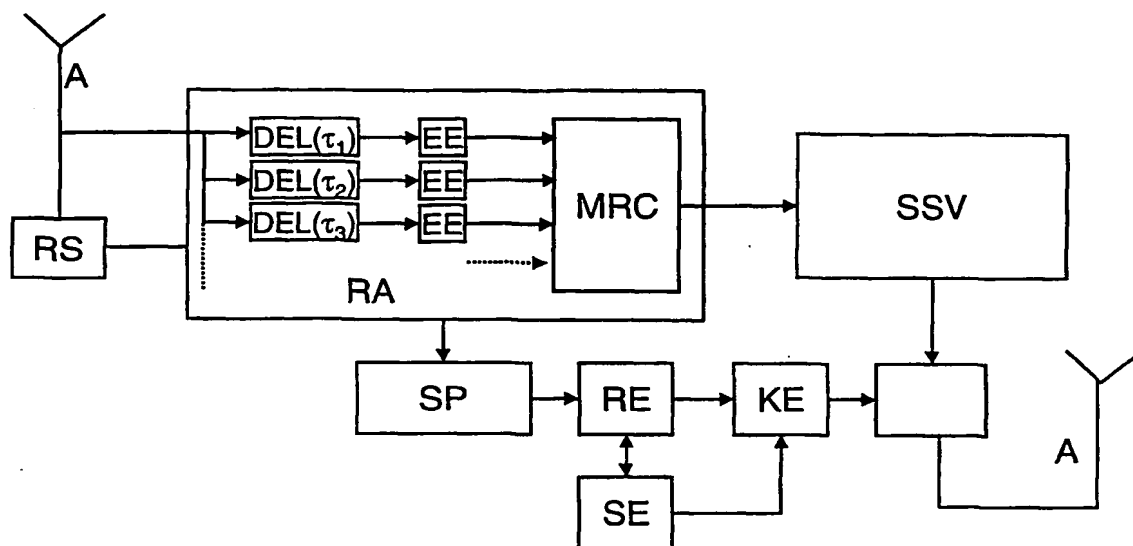
2/6

Fig.2



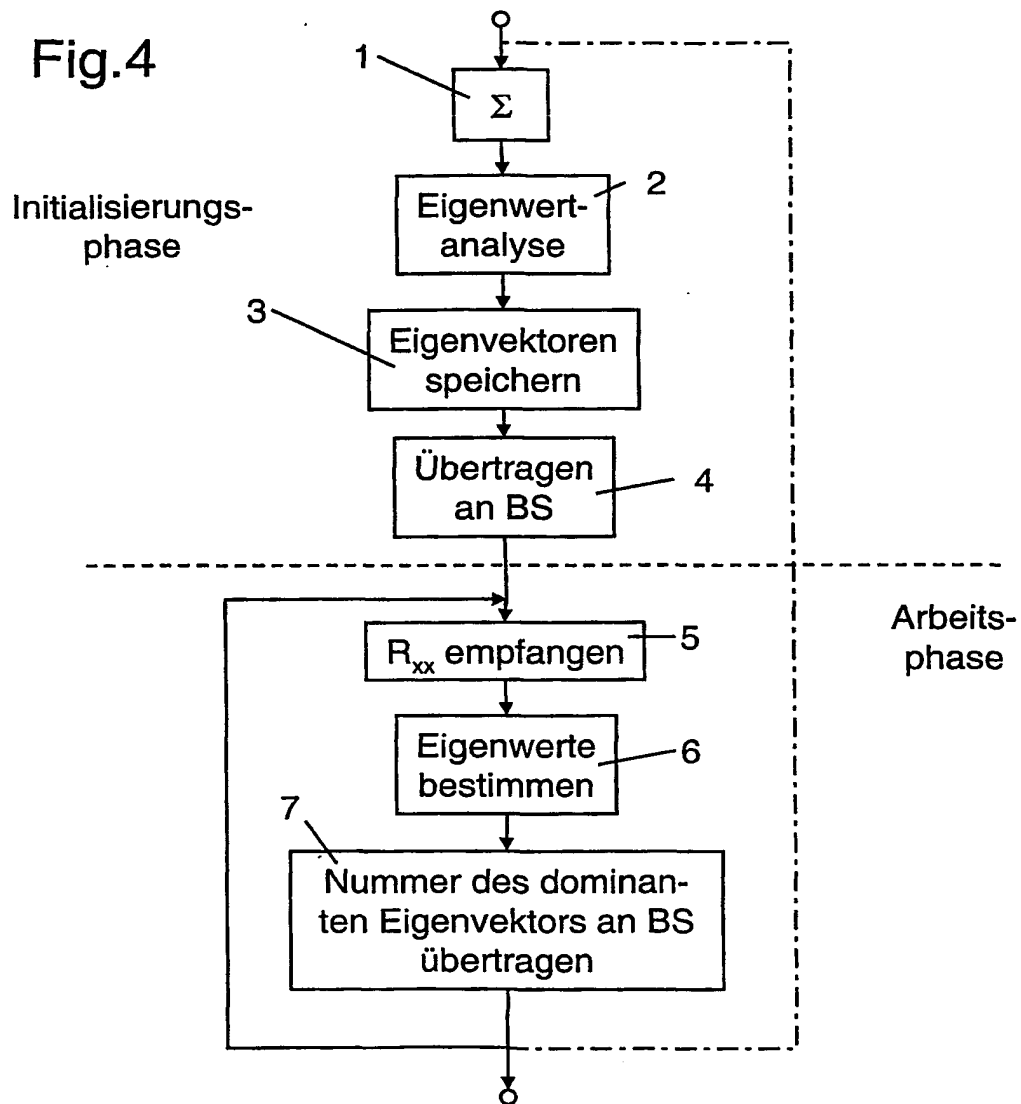
3/6

Fig.3



4/6

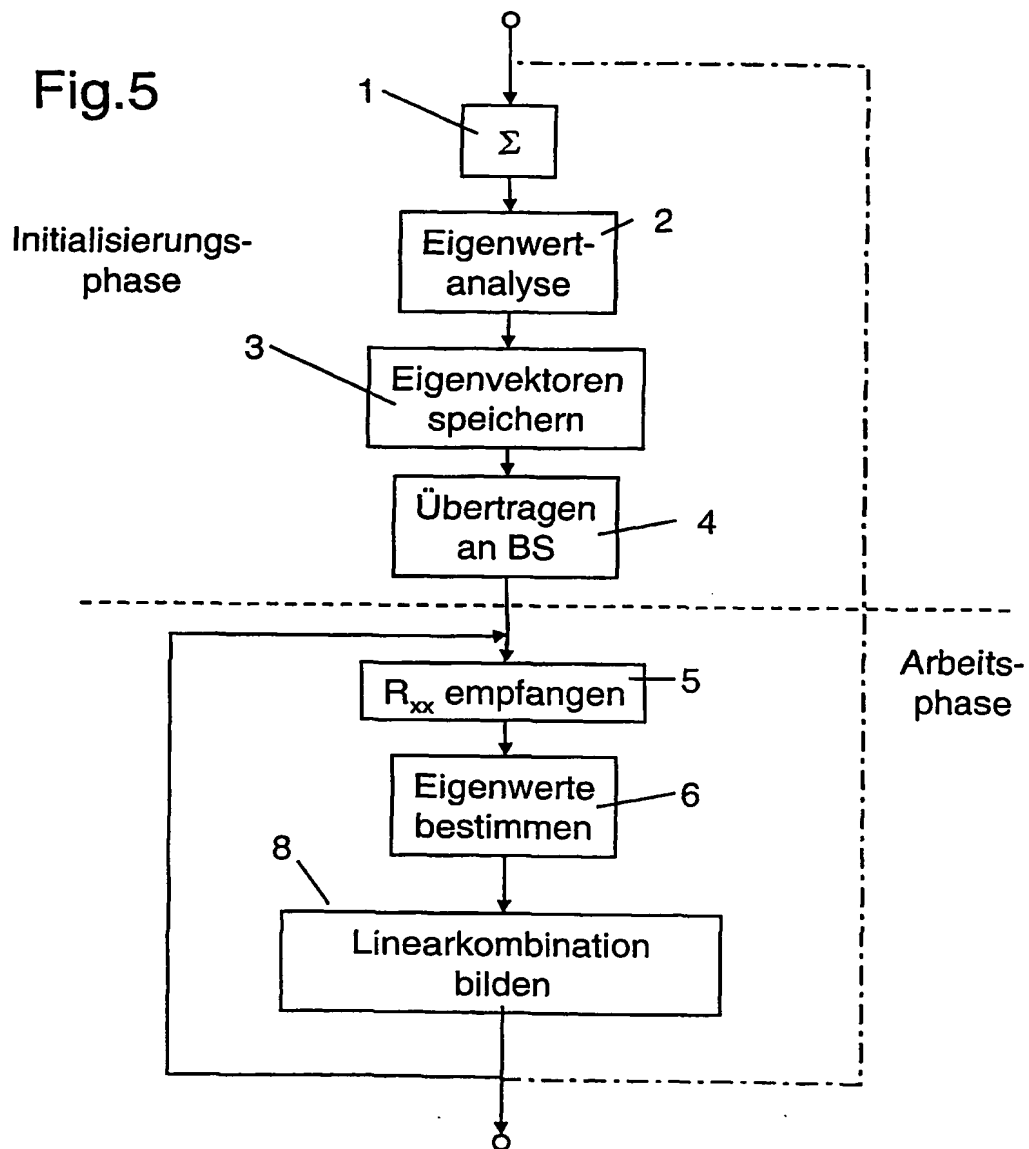
Fig.4





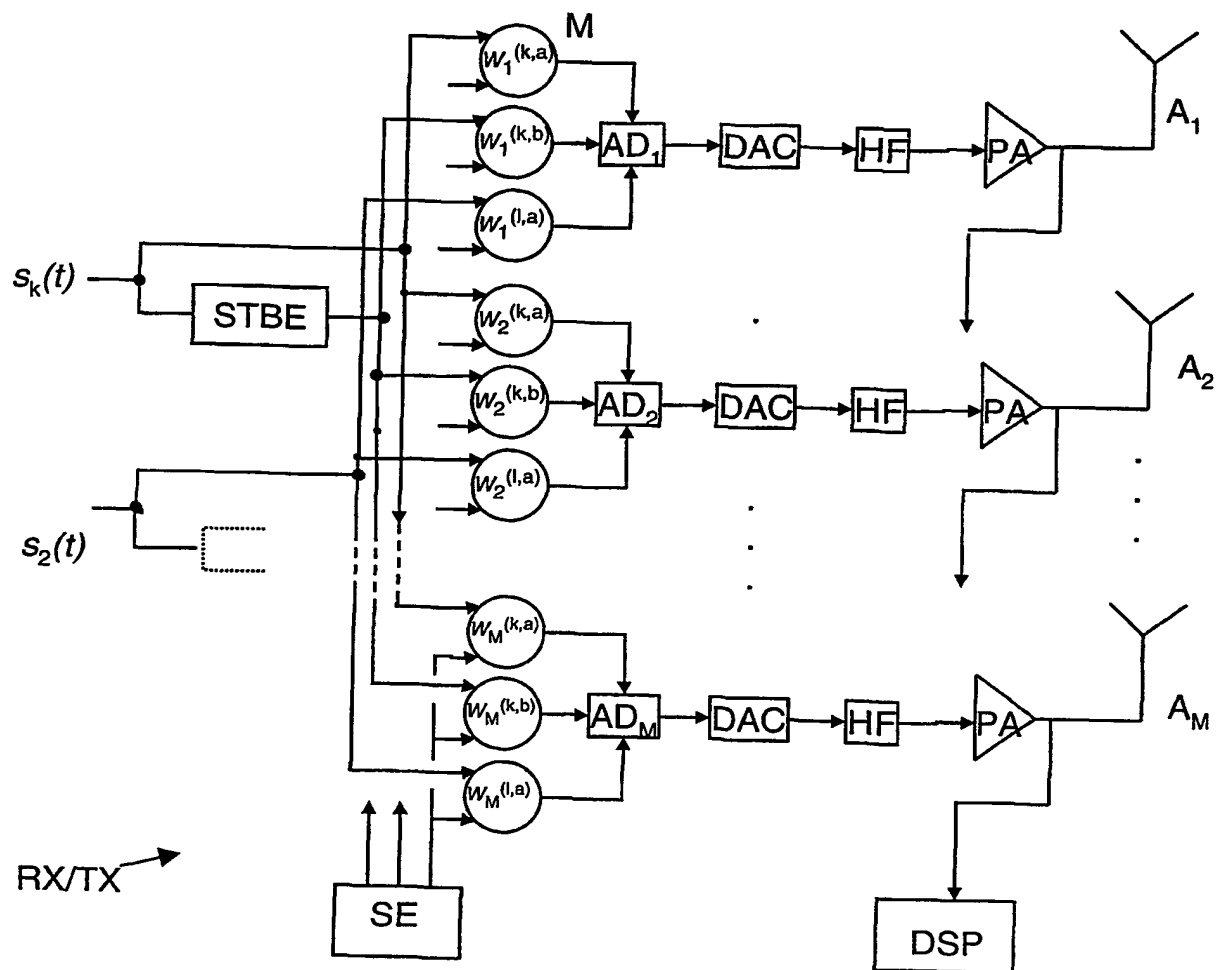
5/6

Fig.5



6/6

Fig. 6



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Internat. Application No  
 PCT/DE 01/01883

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 H04B7/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 H04B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 198 03 188 A (SIEMENS AG) 29 July 1999 (1999-07-29) * Zusammenfassung * page 2, line 43 -page 3, line 23 page 4, line 28 - line 56 page 5, line 62 -page 6, line 23 figures 5,6	1
A	US 5 471 647 A (PAULRAJ AROGYASWAMI J ET AL) 28 November 1995 (1995-11-28) * Zusammenfassung * column 1, line 48 -column 2, line 7 column 3, line 40 -column 5, line 10 figure 3  -/-	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 October 2001

Date of mailing of the international search report

10/10/2001

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

López Márquez, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internation  
PCT/DE 01/01883

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EARNshaw A M BLOSTEIN S D: "AN ERROR ANALYSIS OF FEEDBACK CORRELATION BEAMFORMING FOR THE IS-95 REVERSE LINK" ICC '98. 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS. CONFERENCE RECORD. NEW CENTURY COMMUNICATIONS. ATLANTA, GA, JUNE 7 - 11, 1998, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, NEW YORK, NY: IEEE, US, vol. 2 CONF. 5, 7 June 1998 (1998-06-07), pages 1046-1052, XP000891031 ISBN: 0-7803-4789-7 page 1046, left-hand column, paragraph 1 - paragraph 3 page 1047, left-hand column, line 3 -right-hand column, line 2	1
A	LIANG J-W ET AL: "FORWARD LINK ANTENNA DIVERSITY USING FEEDBACK FOR INDOOR COMMUNICATION SYSTEMS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP). DETROIT, MAY 9 - 12, 1995. STATISTICAL SIGNAL AND ARRAY PROCESSING, NEW YORK, IEEE, US, vol. 3 CONF. 20, 9 May 1995 (1995-05-09), pages 1753-1755, XP000533068 ISBN: 0-7803-2432-3 page 1753, left-hand column, paragraph 1 -right-hand column, paragraph 1	1

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

Internatl      pplication No  
PCT/DE 01/01883

Patent document cited in search report			Publication date	Patent family member(s)		Publication date
DE 19803188	A		29-07-1999	DE	19803188 A1	29-07-1999
				CN	1233923 A	03-11-1999
US 5471647	A		28-11-1995	US	5634199 A	27-05-1997

Internationales Patentsymbol  
PCT/DE 01/01883

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>DE 198 03 188 A (SIEMENS AG)  29. Juli 1999 (1999-07-29)  * Zusammenfassung *</p> <p>Seite 2, Zeile 43 -Seite 3, Zeile 23  Seite 4, Zeile 28 - Zeile 56  Seite 5, Zeile 62 -Seite 6, Zeile 23  Abbildungen 5,6</p> <p style="text-align: center;">---</p>	1
A	<p>US 5 471 647 A (PAULRAJ AROGYASWAMI J ET  AL) 28. November 1995 (1995-11-28)  * Zusammenfassung *</p> <p>Spalte 1, Zeile 48 -Spalte 2, Zeile 7  Spalte 3, Zeile 40 -Spalte 5, Zeile 10  Abbildung 3</p> <p style="text-align: center;">---</p> <p style="text-align: center;">-/-</p>	1

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

**\*A\*** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

**"L"** Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

**\*O** Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung,

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

<sup>12</sup> Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist.

**"X"** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

**Y** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\* & Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. Oktober 2001

Absendedatum des Internationalen Rechercheberichts

10/10/2001

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3018

Bevollmächtigter Bediensteter

López Márquez, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat Aktenzeichen

PCT/DE 01/01883

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	<p>EARNshaw A M BLOSTEIN S D: "AN ERROR ANALYSIS OF FEEDBACK CORRELATION BEAMFORMING FOR THE IS-95 REVERSE LINK" ICC '98. 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS. CONFERENCE RECORD. NEW CENTURY COMMUNICATIONS. ATLANTA, GA, JUNE 7 - 11, 1998, IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMMUNICATIONS, NEW YORK, NY: IEEE, US, Bd. 2 CONF. 5, 7. Juni 1998 (1998-06-07), Seiten 1046-1052, XP000891031 ISBN: 0-7803-4789-7 Seite 1046, linke Spalte, Absatz 1 - Absatz 3 Seite 1047, linke Spalte, Zeile 3 - rechte Spalte, Zeile 2</p>	1
A	<p>LIANG J-W ET AL: "FORWARD LINK ANTENNA DIVERSITY USING FEEDBACK FOR INDOOR COMMUNICATION SYSTEMS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING (ICASSP). DETROIT, MAY 9 - 12, 1995. STATISTICAL SIGNAL AND ARRAY PROCESSING, NEW YORK, IEEE, US, Bd. 3 CONF. 20, 9. Mai 1995 (1995-05-09), Seiten 1753-1755, XP000533068 ISBN: 0-7803-2432-3 Seite 1753, linke Spalte, Absatz 1 - rechte Spalte, Absatz 1</p>	1

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**  
Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internatic lenzeichen  
PCT/DE 01/01883

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19803188	A	29-07-1999	DE	19803188 A1	29-07-1999
			CN	1233923 A	03-11-1999
US 5471647	A	28-11-1995	US	5634199 A	27-05-1997